

Penerapan *Lean Manufacturing* untuk Meningkatkan Produktivitas Sistem Produksi di PT. Z

Almira Zerlina Sri Hartanti

Jurusan Teknik Industri / Fakultas Teknik

azerlina8995@gmail.com

Abstrak - PT. Z merupakan pabrik yang memproduksi bubuk coklat di Sidoarjo, Jawa Timur. Pabrik ini berkeinginan untuk menerapkan konsep *Lean Manufacturing* untuk mengatasi permasalahan yang terjadi yaitu, *production loss* dan bubuk yang berserakan di ruang produksi maupun gudang (*scrap*). Dengan menerapkan konsep *Lean Manufacturing*, pabrik ini dapat meningkatkan produktivitas sistem produksi. Pada kondisi awal, jumlah *scrap* dan *loss* adalah sebesar 0,076% dan 1,987%. *Cycle time* proses *grinding* dan proses *mixing* pada kondisi awal adalah selama 3,49 jam/ton untuk proses *grinding*, dan 14,2 jam/5ton. *Process Cycle Efficiency* (PCE) pada kondisi awal adalah sebesar 81%. Terdapat perbedaan nilai indikator setelah dilakukannya implementasi saran perbaikan selama 2 bulan. Persentase jumlah *scrap* dan *loss* pada kondisi baru adalah sebesar 0,054% dan 1,542%. Pada kondisi baru, *Process Cycle Efficiency* (PCE) meningkat menjadi 82% dengan *cycle time* untuk proses *grinding* selama 2,7 jam/ton dan 11,86 jam/5ton untuk proses *mixing*.

Kata Kunci: Produktivitas, *Lean Manufacturing*, *Production Loss*, *Process Activity Mapping*, *Value Stream Mapping*, *Waste*

Abstract – PT. Z is a cocoa powder manufacturer that located in Sidoarjo, East Java. The factory wanted to implement the concept of *Lean Manufacturing* to overcome their problems such as, production loss and powder (*scrap*) which was spreading over their production floor and warehouse. This factory could improve their production system's productivity with the deployment of *Lean Manufacturing* concept. Percentage of scraps and losses for initial condition is about 0,076% and 1,987%. Cycle time for grinding process and mixing process for initial concept is about 3,49 hours/ton and 14,2 hours/5ton. *Process Cycle Efficiency* (PCE) for the initial condition is 81%. After implementing the improvement initiatives, there were some differences on the indicators. Percentage of scraps and losses for the new condition was about 0,054% and 1,542%. *Process Cycle Efficiency* (PCE) was increased and becoming 82% with cycle time for grinding process is 2,7 hours/ton and 11,86 hours/5ton for mixing process.

Keywords: Productivity, *Lean Manufacturing*, *Production Loss*, *Process Activity Mapping*, *Value Stream Mapping*, *Waste*

PENDAHULUAN

PT. Z adalah sebuah perusahaan yang memproduksi berbagai macam produk yang berbahan dasar coklat. Produk yang dihasilkan oleh PT. Z ini berupa bubuk coklat (*cocoa powder*). Proses produksi bubuk coklat tersebut terdiri dari 2 tahap yaitu, penghalusan bahan baku menjadi bubuk (*grinding*) dan pencampuran bubuk hasil grinding dengan bahan baku tambahan (*mixing*).

Sistem produksi pada perusahaan ini sering mengalami beberapa permasalahan yaitu *production loss* dan *scrap*. *Scrap* yang dimaksud merupakan bubuk coklat yang berserakan di lantai produksi atau di gudang. *Loss* merupakan persentase jumlah bubuk yang mungkin masih ada di dalam mesin karena bubuk tersebut belum keluar sebagai *output* produksi. Istilah *Loss* ini menggambarkan berapa besar kelebihan atau kekurangan jumlah *output* jika dibandingkan dengan jumlah *input*. PT. Z ingin menerapkan konsep *Lean Manufacturing* untuk meningkatkan produktivitas sistem produksi dengan mengurangi pemborosan yang terjadi selama proses produksi serta mengatasi permasalahan mengenai *production loss* dan *scrap* tersebut.

METODE PENELITIAN

A. Pengukuran Produktivitas Awal

Pengukuran produktivitas didasarkan pada dua kriteria yaitu efektifitas dan efisiensi. Dipilih persentase *scrap* dan persentase *loss* sebagai indikator untuk penilaian tingkat efektifitas.

$$Scrap (\%) = \frac{Total\ scrap}{Total\ input} \times 100\% \quad (1)$$

$$Loss (\%) = \frac{Total\ input - Total\ output - Total\ sampling - Total\ scrap}{Total\ input} \times 100\% \quad (2)$$

Pada tingkat efisiensi diukur dengan indikator *Process Cycle Efficiency* (PCE). Pengukuran indikator PCE ini dibantu dengan menggunakan *tools* berupa *Process Activity Mapping* (PAM) dan *Value Stream Mapping*.

$$Process\ Cycle\ Efficiency\ (PCE) = \frac{Waktu\ Value\ Added}{Total\ Waktu\ Keseluruhan} \times 100\% \quad (3)$$

B. Waste Analysis

Dilakukan analisis dengan menggunakan *Fishbone Diagram* untuk menemukan akar permasalahan terjadinya *loss* dan *scrap*.

C. Rancangan Perbaikan dan Implementasi

Setelah ditemukannya akar permasalahan dari langkah sebelumnya, dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* untuk mengetahui permasalahan mana yang di prioritaskan untuk diperbaiki dengan melihat nilai RPN-nya.

$$RPN = Severity\ Score \times Occurence\ Score \times Detection\ Score \quad (4)$$

Tabel 1. Penilaian Indikator *Detection* (Hanif *et al.*, 2015)

Rank	Criteria
1	<i>Very High</i>
2-5	<i>High</i>
6-8	<i>Moderate</i>
9	<i>Low</i>
10	<i>Very Low</i>

Tabel 2. Penilaian Indikator *Occurence* (Bahrami *et al.*, 2012)

Rank	Possible Failure Rate	Probability of Failure
10	> 1 in 2	Extremely high; failure almost inevitable
9	1 in 3	Very high
8	1 in 8	Repeated failure
7	1 in 20	High
6	1 in 80	Moderately high
5	1 in 400	Moderate
4	1 in 2.000	Relatively low
3	1 in 15.000	Low
2	1 in 150.000	Remote
1	< 1 in 1.500.000	Nearly impossible

Tabel 3. Penilaian Indikator *Severity* (Bahrami *et al.*, 2012)

Rank	Effect	Rank	Effect
10	Hazardous	5	Moderate
9	Serious	4	Low
8	Extreme	3	Minor
7	Major	2	Very Minor
6	Significant	1	None

Setelah itu, dilakukan perhitungan pembobotan untuk melihat aktivitas *non value added* mana yang perlu diperbaiki. Pembobotan dilakukan berdasarkan waktu rata-rata aktivitas pada suatu proses, jarak yang diperlukan untuk suatu proses serta jenis aktivitas *non value added*-nya.

$$w_j(RS) = \frac{n-r_j+1}{\sum_{k=1}^n n-r_k+1} = \frac{2(n+1-r_j)}{n(n+1)} \quad (5)$$

D. Pengukuran Produktivitas Baru

Setelah menerapkan beberapa saran perbaikan, maka dilakukan perhitungan kembali produktivitas untuk kondisi baru setelah melakukan implementasi.

E. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan adalah berupa laporan hasil produksi dan data waktu pengamatan.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Produksi

No.	Kondisi	Periode Produksi	Total Input (kg)	Total Output (kg)	Total Sampling (kg)	Total Scrap (kg)
1	Awal	Oktober 2016	75.407	71.223	18,690	53,911
2		November 2016	80.412	80.991	22,504	45,540
3		Desember 2016	56.706	55.850	14,155	38,976
4		Januari 2017	79.742	78.612	16,347	54,137
5		Februari 2017	69.637	67.854	11,822	53,512
6		Maret 2017	68.858	67.070	11,565	113,665
7	Baru	April 2017	39.349	38.650	4,081	20,543
8		Mei 2017	42.366	41.750	6,230	23,853

Tabel 5. Data Waktu Proses *Grinding*

No.	Aktivitas	Waktu Rata-Rata (detik/ton)	
		Kondisi Awal	Kondisi Baru
1	<i>Set up hand pallet 1</i>	41,047	40,182
2	Memindahkan bahan baku dari gudang ke ruang <i>dumping</i>	104,884	93,210
3	Mengaitkan <i>crane</i> dengan bahan baku	60,993	53,964
4	Mengangkat bahan baku	105,915	106,956
5	Membersihkan bag bahan baku	210,129	201,288
6	Memindahkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	118,038	116,853
7	Membuka bag	48,342	37,821
8	Memasukkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	327,582	293,364
9	Proses <i>grinding</i>	780,633	627,126

Tabel 5. Data Waktu Proses *Grinding* (Lanjutan)

No.	Aktivitas	Waktu Rata-Rata (detik/ton)	
		Kondisi Awal	Kondisi Baru
10	Memasukkan bubuk ke dalam <i>paper bag</i>	11771,480	9088,280
11	Memindahkan produk WIP ke tempat penyimpanan sementara	823,240	0,000
12	Proses <i>packaging</i>	0,000	1078,640
13	Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	0,000	630,600
14	<i>Set up hand pallet 2</i>	0,000	37,096
15	Memindahkan produk akhir ke gudang	0,000	186,676

Tabel 6. Data Waktu Proses *Mixing*

No.	Aktivitas	Waktu Rata-Rata (detik/5ton)	
		Kondisi Awal	Kondisi Baru
1	<i>Set up hand pallet 1</i>	57,422	147,155
2	Mengambil bahan baku <i>mixing</i> di gudang C	464,218	1224,675
3	Memindahkan 4 bahan baku <i>mixing</i> ke samping mesin <i>mixing</i>	388,720	268,800
4	Memindahkan 2 bahan baku ke timbangan	179,360	57,650
5	Menimbang sesuai resep	476,580	690,190
6	Memindahkan bahan baku ke samping mesin <i>mixing</i>	2675,040	0,000
7	Memasukkan 10 <i>bag</i> ke dalam mesin <i>mixing</i>	4812,540	4060,380
8	Proses <i>mixing</i>	26320,000	18960,000
9	Memasukkan hasil <i>mixing</i> ke dalam <i>paper bag</i>	5907,000	4731,000
10	Menimbang setiap produk	5568,600	4947,000
11	Proses <i>packaging</i>	3714,200	7080,800
12	Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	4805,467	2915,400
13	<i>Set up hand pallet 2</i>	261,695	185,230
14	Memindahkan produk akhir ke gudang	585,305	458,980

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengukuran Produktivitas Awal

Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung tingkat produktivitas kondisi awal. Indikator yang digunakan adalah persentase *scrap*, persentase *loss* dan *Process Cycle Efficiency* (PCE).

Terdapat 4 informasi pada Laporan Produksi. Informasi-informasi tersebut adalah *Total Input*, *Total Output*, *Total Scrap*, dan *Total Sampling*. *Total Input* adalah jumlah keseluruhan bahan baku yang dipakai untuk suatu proses produksi. *Total Scrap* adalah jumlah *scrap* yang terkumpul pada *shift* tersebut, sedangkan *Total Sampling* adalah total dari jumlah bubuk yang diambil sebagian dari hasil proses produksi untuk dilakukan *sampling* oleh divisi *Quality Control*. *Total*

Output adalah jumlah *output* dari suatu proses produksi yang sudah di-packaging. *Total Output* ini sudah tidak termasuk *scrap* dan *sampling*.

Hasil dari perhitungan *Loss* akan memiliki 2 nilai yaitu, nilai positif dan nilai negatif. Jika dari perhitungan menghasilkan nilai positif, maka proses produksi tersebut memiliki jumlah *input* yang lebih besar daripada besar *output*. Namun jika hasil perhitungan tersebut bernilai negatif, maka proses produksi tersebut memiliki jumlah *output* yang lebih besar daripada besar *input*.

Tabel 7. Nilai Tingkat Indikator Efektivitas Kondisi Awal

No.	Periode Produksi	Shift	Total Input (kg)	Total Output (kg)	Total Sampling (kg)	Total Scrap (kg)	Total Scrap (%)	Total Loss (%)
1	Oktober 2016	1	24.981	22.989	5,650	21,966	0,088%	7,864%
		2	24.850	23.937	6,729	16,372	0,066%	3,583%
		3	25.576	24.297	6,311	15,573	0,061%	4,915%
		Total	75.407	71.223	18,690	53,911	0,071%	5,453%
2	November 2016	1	24.820	23.725	6,938	12,465	0,050%	4,334%
		2	27.896	29.741	7,959	16,704	0,060%	-6,702%
		3	27.696	27.525	7,607	16,371	0,059%	0,531%
		Total	80.412	80.991	22,504	45,540	0,057%	-0,805%
3	Desember 2016	1	16.997	15.975	4,572	11,895	0,070%	5,916%
		2	18.811	19.600	4,548	15,379	0,082%	-4,300%
		3	20.898	20.275	5,035	11,702	0,056%	2,901%
		Total	56.706	55.850	14,155	38,976	0,069%	1,416%
4	Januari 2017	1	27.121	26.285	4,900	17,294	0,064%	3,001%
		2	27.501	26.797	6,072	21,828	0,079%	2,457%
		3	25.120	25.530	5,375	15,015	0,060%	-1,713%
		Total	79.742	78.612	16,347	54,137	0,068%	1,328%
5	Februari 2017	1	21.315	19.953	3,567	14,357	0,067%	6,306%
		2	23.210	23.292	4,364	17,496	0,075%	-0,447%
		3	25.112	24.609	3,891	21,659	0,086%	1,901%
		Total	69.637	67.854	11,822	53,512	0,077%	2,467%
6	Maret 2017	1	22.733	21.511	4,040	34,954	0,154%	5,204%
		2	22.822	21.921	4,291	39,466	0,173%	3,756%
		3	23.303	23.638	3,234	39,245	0,168%	-1,620%
		Total	68.858	67.070	11,565	113,665	0,165%	2,415%
TOTAL			792.665	776.129	178,602	605,818	0,076%	1,987%

Terdapat 11 aktivitas yang dilakukan pada proses *grinding*. Aktivitas-aktivitas tersebut dikelompokkan ke dalam 3 kelompok yaitu proses *external setup*, proses produksi, dan proses transportasi. *Process Activity Mapping* untuk proses *grinding* dapat dilihat di Tabel 8 hingga Tabel 10. *Process Activity Mapping* untuk proses *grinding* menggambarkan proses *grinding* untuk setiap ton produk yang dihasilkan.

Berdasarkan *Process Activity Mapping* untuk proses *grinding*, proses produksi ini membutuhkan total waktu 12.552,113 detik atau 3,49 jam. Proses ini memiliki aktivitas *external setup* yang memiliki total waktu 1.016,930 detik atau 16,95 menit dan proses transportasi yang memiliki total waktu 823,240 detik atau 13,72 menit. Dapat disimpulkan bahwa proses *grinding* memiliki *cycle time* selama 3,49 jam/ton dengan waktu *setup* selama 16,95 menit/ton dan proses transportasi selama 13,72 menit/ton.

Tabel 8. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding (External Setup)* Kondisi Awal

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
1	Set up hand pallet	Hand Pallet		41,047	2					X		NVA
2	Memindahkan bahan baku dari gudang ke ruang <i>dumping</i>	Hand Pallet	8,39	104,884		X						NVA
3	Mengaitkan <i>crane</i> dengan bahan baku	Crane		60,993						X		NVA
4	Mengangkat bahan baku	Crane	1,250	105,915						X		NVA
5	Membersihkan <i>bag</i> bahan baku	Alkohol		210,129			X					NVA
6	Memindahkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	Crane	1,215	118,038		X						NVA
7	Membuka <i>bag</i>	Manual		48,342						X		NVA
8	Memasukkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	Manual		327,582					X			NVA
Total			10,855	1016,930	2	0	2	1	1	4	0	8

Tabel 9. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding (Proses Produksi)* Kondisi Awal

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
9	Proses <i>grinding</i>	Pipa, <i>silo</i> , mesin RM, mesin <i>tempering</i>		780,633	2	X					VA	
10	Memasukkan bubuk ke dalam <i>bag</i>	mesin <i>blower</i> , <i>paper bag</i>		11771,480		X					VA	
Total			0,000	12552,113	2	2	0	0	0	0	2	0

Tabel 10. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding (Proses Transportasi)* Kondisi Awal

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
11	Memindahkan produk WIP ke tempat penyimpanan sementara	Manual	2,770	823,240	1				X			NVA
Total			2,770	823,240	1	0	0	0	1	0	0	1

Terdapat 14 aktivitas yang dilakukan pada proses *mixing*. Aktivitas-aktivitas tersebut dikelompokkan ke dalam 4 kelompok yaitu proses *external setup*, proses produksi, proses *packaging* dan proses transportasi. *Process Activity Mapping* untuk proses *mixing* dapat dilihat di Tabel 11 hingga Tabel 14. *Process Activity Mapping* untuk proses *mixing* menggambarkan proses *mixing* untuk setiap 5 ton produk yang dihasilkan.

Berdasarkan *Process Activity Mapping* untuk proses *mixing*, proses *mixing* sendiri membutuhkan total waktu 31.132,54 detik atau 8,65 jam. Proses *packaging* membutuhkan total waktu 19.995,267 detik atau 5,55 jam, sehingga *cycle time* untuk proses *mixing* adalah 14,2 jam/5ton. Proses ini memiliki aktivitas *external setup* yang memiliki total waktu 4.241,34 detik atau 1,18 jam/5ton dan waktu aktivitas untuk transportasi selama 847 detik atau 14,12 menit/5ton.

Tabel 11. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing (External Setup)* Kondisi Awal

Tabel 11: Process Activity Mapping Proses Mixing (External Setup) Kondisi Awal												
No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori				VA	NVA	
						Operation	Transportation	Inspection	Storage			Delay
1	Set up hand pallet 1	Hand Pallet		57,422	2				X		NVA	
2	Mengambil bahan baku mixing di gudang C	Hand Pallet	12,667	464,218			X					NVA
3	Memindahkan 4 bahan baku mixing ke samping mesin mixing	Manual	1,6	388,720			X					NVA
4	Memindahkan 2 bahan baku ke timbangan	Manual	3,24	179,360			X					NVA
5	Menimbang sesuai resep	Timbangan, sendok		476,580				X				NVA
6	Memindahkan bahan baku ke samping mesin mixing	Manual	5	2675,040			X					NVA
Total			22,507	4241,34	2	0	4	1	0	1	0	6

Tabel 12. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing (Proses Produksi)* Kondisi Awal

Tabel 12: Process Activity Mapping Proses Mixing (Proses Produksi) Kondisi Awal											
No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori				VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage Delay		
7	Memasukkan 10 <i>bag</i> ke dalam mesin <i>mixing</i>	<i>Manual</i>		4812,540	2	X				VA	
8	Proses <i>mixing</i>	mesin <i>mixing</i>		26320,000		X				VA	
Total			0,00	31132,54	2	2	0	0	0	2	0

Tabel 13. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing* (Proses *Packaging*) Kondisi Awal

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
9	Memasukkan hasil <i>mixing</i> ke dalam <i>paper bag</i>	<i>paper bag</i>		5907,000	2	X					VA	
10	Menimbang setiap produk	Timbangan, sendok	1,15	5568,600				X				NVA
11	Proses <i>packaging</i>	mesin jahit		3714,200		X					VA	
12	Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	<i>pallet</i>	4,50	4805,467					X			NVA
Total			5,650	19995,267	2	2	0	1	1	0	2	2

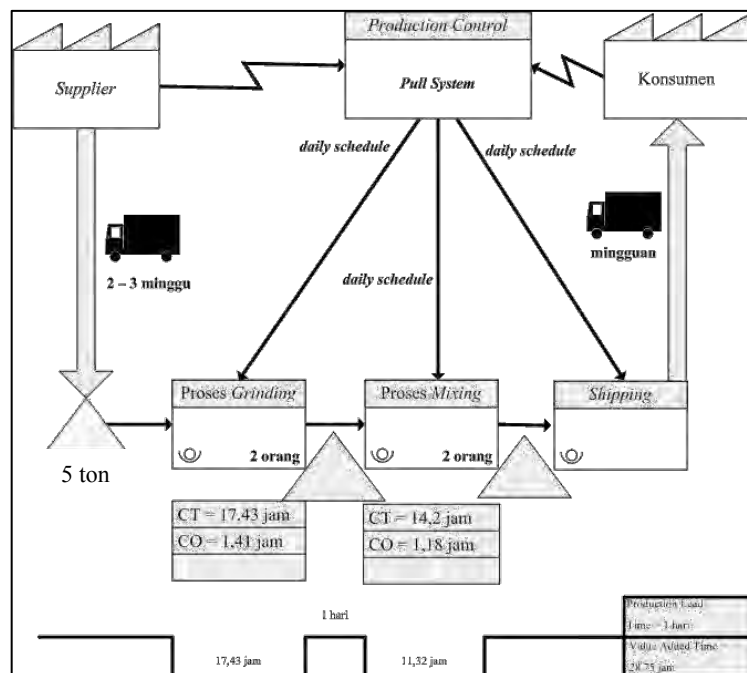
Tabel 14. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing* (Proses *Transportasi*) Kondisi Awal

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Waktu Rata-Rata (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
13	<i>Set up hand pallet 2</i>	<i>Hand Pallet</i>		261,695	2					X		NVA
14	Memindahkan produk akhir ke gudang	<i>Hand Pallet</i>	9,85	585,305					X			NVA
Total			9,85	847,00	2	0	0	0	1	1	0	2

Tabel 15 merupakan perhitungan untuk *Process Cycle Efficiency* (PCE). Dengan membandingkan besar waktu *value added time* dan total waktu dari keseluruhan proses, maka didapatkan PCE untuk kondisi awal sebesar 81%.

Tabel 15. *Process Cycle Efficiency* Kondisi Awal

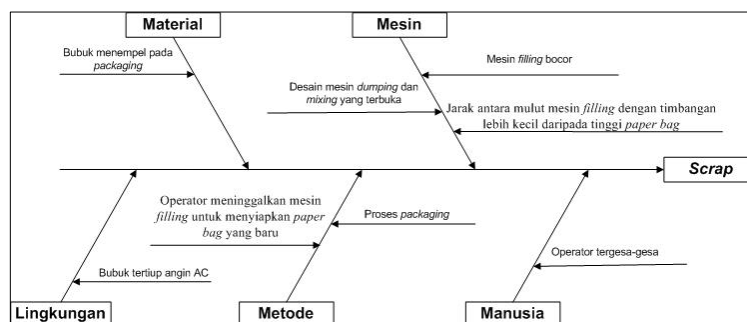
Proses	<i>Value Added</i> (jam/5ton)	<i>Non Value Added</i> (jam/5ton)	Total Waktu (jam/5ton)	PCE
<i>Grinding</i>	17,433	2,556	19,989	87%
<i>Mixing</i>	11,320	4,295	15,616	72%
<i>Keseluruhan</i>	28,754	6,851	35,605	81%



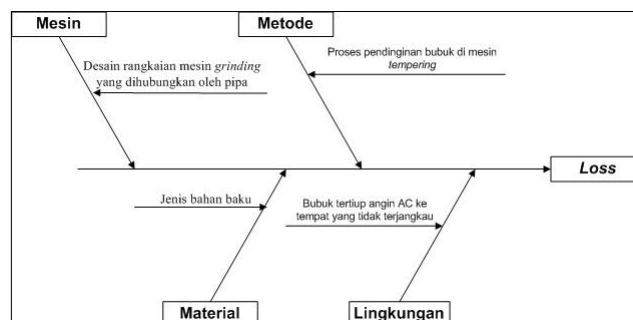
Gambar 1. Value Stream Mapping Kondisi Awal

2. Waste Analysis

Terdapat dua permasalahan yang akan di analisis dengan menggunakan *Fishbone Diagram* yaitu *scrap* dan *loss*. Analisis ini berdasarkan pengamatan. Hasil dari analisis ini tergambar pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Fishbone Diagram untuk Analisis Scrap



Gambar 3. Fishbone Diagram untuk Analisis Loss

3. Rancangan Perbaikan dan Implementasi

Setelah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, dilakukan analisis untuk menentukan permasalahan atau aktivitas mana yang diprioritaskan untuk diperbaiki dengan menggunakan FMEA dan metode pembobotan.

3.1 Analisis FMEA

Setelah menemukan akar-akar permasalahan untuk terjadinya *loss* dan *scrap*, dilakukan analisis FMEA untuk menentukan permasalahan mana yang diprioritaskan untuk diperbaiki berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Permasalahan yang diprioritaskan untuk diperbaiki adalah permasalahan dengan nilai RPN lebih atau sama dengan 125.

Tabel 17. Hasil Perhitungan FMEA untuk Terjadinya *Scrap*

<i>Failure Type</i>	<i>Effect</i>	S	<i>Potential Causes</i>	O	<i>Current Control</i>	D	RPN
Mesin <i>filling</i> bocor	Bubuk tetap keluar dari mesin walaupun <i>valve</i> sudah ditutup	8	Terdapat celah pada <i>valve</i> mesin <i>filling</i>	10	Operator mengambil <i>paper bag</i> terlebih dahulu lalu diletakkan di dekat mesin	5	400
Jarak antara mulut mesin <i>filling</i> dengan timbangan lebih kecil daripada tinggi <i>paper bag</i>	Bubuk akan tumpah ketika operator mengambil hasil dari proses <i>grinding</i>	7	Terdapat bancik yang terlalu tinggi dibawah mesin <i>filling</i>	10	-	1	70
Desain mesin <i>dumping</i> dan mesin <i>mixing</i> yang terbuka	Bubuk akan keluar saat proses pengisian bahan baku	3	Tidak ada penutup pada jalan pengisian bubuk sehingga bubuk mudah keluar	10	-	1	30
Bubuk menempel pada <i>packaging</i>	Bubuk akan keluar saat operator melempar <i>paper bag</i> ke lantai dan ada beberapa yang masih menempel pada <i>packaging</i>	3	Jenis <i>nner plastic</i> yang dipakai rentan membuat bubuk menempel	10	<i>Packaging</i> akan tetap dipakai kembali jika jenis produknya sama	1	30
Operator tergesa-gesa	Bubuk akan keluar saat proses menimbang atau proses <i>packaging</i>	5	Terdapat banyak produk yang saat itu harus ditimbang dan dijahit	8	-	1	40
Bubuk tertiuip angin AC	Bubuk menempel pada mesin, dinding dan plafon	5	Angin yang keluar dari AC terlalu besar dan terlalu mengarah ke produk yang terbuka atau proses produksi	6	-	9	270
Proses <i>packaging</i>	Terdapat bubuk yang keluar saat proses pembuangan angin	5	Terdapat bubuk yang menempel pada mulut <i>paper bag</i> atau <i>inner plastic</i> dan <i>inner</i> serta <i>paper bag</i> tidak tertutup rapat	10	Operator berhati-hati saat proses <i>packaging</i> namun waktunya terlalu lama	1	50

Tabel 16. Hasil Perhitungan FMEA untuk Terjadinya *Loss*

<i>Failure Type</i>	<i>Effect</i>	S	<i>Potential Causes</i>	O	<i>Current Control</i>	D	RPN
Desain rangkaian mesin <i>grinding</i> yang dihubungkan oleh pipa	Bahan baku tersumbat didalam pipa	8	Bahan baku mengendap didalam pipa karena tekanan angin yang kurang	6	Pembersihan mesin dan ruang produksi secara keseluruhan namun belum rutin	10	480
Jenis bahan baku yang mudah tersumbat di <i>classifier</i>	Bahan baku akan tinggal didalam <i>classifier</i>		Terdapat bahan baku yang ukurannya terlalu kecil			10	480
Proses pendinginan bubuk di mesin <i>tempering</i>	Bubuk menggumpal di dalam mesin <i>tempering</i>		Bubuk akan mengendap jika diberi <i>treatment</i> berupa suhu yang rendah			10	480
Bubuk tertiuap angin AC ke tempat yang tidak terjangkau	Bubuk menempel pada dinding dan plafon	5	Angin yang keluar dari AC terlalu besar dan terlalu mengarah ke mesin produksi			9	270
Keterangan : S = <i>Severity Score</i> O = <i>Occurence Score</i> D = <i>Detection Score</i> RPN = <i>Risk Priority Number</i>							

3.2 Analisis Pembobotan

Dilakukan pembobotan untuk mengetahui aktivitas *non value added activity* mana yang diprioritaskan untuk diperbaiki terkait dengan pemborosan waktu. Pembobotan yang dilakukan dengan melihat waktu rata-rata aktivitas pada suatu proses, jarak yang diperlukan untuk suatu proses serta jenis aktivitas *non value added*-nya. Pembobotan dilakukan dengan salah satu metode pembobotan dengan sistem *ranking*, yaitu *Rank Sum Weight Method*. Aktivitas yang memiliki persentase bobot yang tinggi akan diprioritaskan untuk diperbaiki.

$$\text{Bobot Keseluruhan} = \text{Bobot Waktu} \times \text{Bobot Jarak} \times \text{Bobot Jenis Aktivitas} \quad (6)$$

Perhitungan masing-masing bobot dilakukan dengan mengurutkan setiap kriteria dari yang paling besar ke kecil. Jika terdapat nilai yang sama atau *range* nilai yang sama untuk beberapa kriteria, maka diberikan nilai *ranking* yang sama. Setelah melakukan proses *ranking*, dilakukan perhitungan bobot untuk setiap kriterianya dengan metode *Rank Sum Weight Method*. Aktivitas yang diprioritaskan untuk diperbaiki adalah aktivitas dengan nilai persentase bobot keseluruhan lebih dari 20%. Namun jika syarat ini tidak terpenuhi, maka dipilih aktivitas dengan nilai persentase bobot yang paling besar.

Tabel 18. Hasil Perhitungan Pembobotan *Non Value Added Activity* untuk Proses *Grinding*

Aktivitas	Bobot			Bobot Keseluruhan	Persentase Bobot Keseluruhan
	Waktu	Jarak	Jenis Aktivitas		
<i>Set up hand pallet</i>	0,067	0,111	0,300	0,0022	5%
Membuka <i>bag</i>	0,067	0,000	0,300	-	0%
Mengaitkan <i>crane</i> dengan bahan baku	0,089	0,000	0,300	-	0%
Mengangkat bahan baku	0,111	0,092	0,300	0,0031	7%
Memindahkan bahan baku dari gudang C ke ruang <i>dumping</i>	0,111	0,616	0,300	0,0205	45%
Memindahkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	0,133	0,089	0,300	0,0036	8%
Membersihkan <i>bag</i> bahan baku	0,156	0,000	0,200	-	0%
Memasukkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	0,178	0,000	0,400	-	0%
Memindahkan produk WIP ke tempat penyimpanan sementara	0,200	0,203	0,400	0,0163	36%
Total Bobot Keseluruhan				0,0456	

Tabel 19. Hasil Perhitungan Pembobotan *Non Value Added Activity* untuk Proses *Mixing*

Aktivitas	Bobot			Bobot Keseluruhan	Persentase Bobot Keseluruhan
	Waktu	Jarak	Jenis Aktivitas		
<i>Setup hand pallet 1</i>	0,073	0,055	0,100	0,0004	1%
Memindahkan 2 bahan baku ke timbangan	0,091	0,109	0,200	0,0020	6%
<i>Setup hand pallet 2</i>	0,091	0,055	0,100	0,0005	1%
Memindahkan 4 bahan baku <i>mixing</i> ke samping mesin <i>mixing</i>	0,109	0,091	0,200	0,0020	6%
Mengambil bahan baku <i>mixing</i> di gudang C	0,127	0,182	0,200	0,0046	14%
Menimbang sesuai resep	0,127	0,073	0,400	0,0037	11%
Memindahkan produk akhir ke gudang B	0,127	0,164	0,300	0,0062	18%
Memindahkan bahan baku ke samping mesin <i>mixing</i>	0,145	0,145	0,200	0,0042	12%
Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	0,164	0,127	0,300	0,0062	18%
Menimbang setiap produk	0,182	0,055	0,400	0,0040	12%
Total Bobot Keseluruhan				0,0339	

3.3 Saran Perbaikan

Setelah mengetahui permasalahan atau aktivitas mana yang diprioritaskan untuk diperbaiki, dilakukan perancangan perbaikan. Permasalahan nomor 10 dan 11 bukan hasil dari langkah sebelumnya, karena permasalahan ini tidak tergambar pada *Process Activity Mapping*. Usulan perbaikan ini dapat dilihat di Tabel 20.

Tabel 20. Perancangan Perbaikan

No	Jenis Waste	Permasalahan	Usulan Perbaikan	Keterangan
1	Scrap	Mesin <i>filling</i> bocor	<ul style="list-style-type: none"> Perbaikan tata cara kerja untuk pengambilan produk Pemasangan <i>silicon</i> di dalam mesin <i>filling</i> 	Implementasi
2	Scrap dan Loss	Bubuk tertiuap angin AC	Perbaikan sistem tata udara dengan menggunakan <i>diffuser</i>	Usulan
3	Loss	Desain rangkaian mesin <i>grinding</i> yang dihubungkan oleh pipa	Pembersihan mesin secara rutin setiap akhir bulan	Implementasi
4		Jenis bahan baku		
5		Proses pendinginan bubuk di mesin <i>tempering</i>		
6	Waktu	Memindahkan produk WIP ke tempat penyimpanan sementara	Perbaikan tata letak ruang <i>mixing</i>	Implementasi
7		Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	Perbaikan desain serta tata letak gudang, <i>material handling</i>	Implementasi sebagian
8		Memindahkan produk akhir ke gudang B		
9		Memindahkan bahan baku dari gudang C ke ruang <i>dumping</i>		
10		Proses mengambil bahan baku		
11		Proses <i>mixing</i> melebihi waktu yang ditentukan oleh perusahaan	Pemasangan alarm pada mesin <i>mixing</i> atau penunjuk jam di ruang <i>mixing</i>	Implementasi

4. Pengukuran Produktivitas Baru

Dilakukan perhitungan produktivitas kembali untuk kondisi baru setelah dilakukannya implementasi. Hasil perhitungan indikator efektivitas terdapat pada Tabel 21.

Tabel 21. Nilai Tingkat Indikator Efektivitas Kondisi Baru

No.	Periode Produksi	Shift	Total Input (kg)	Total Output (kg)	Total Sampling (kg)	Total Scrap (kg)	Total Scrap (%)	Total Loss (%)
1	April 2017	1	16.568	15.925	1,666	7,947	0,048%	3,823%
		2	16.327	16.200	1,595	8,839	0,054%	0,714%
		3	6.454	6.525	0,820	3,757	0,058%	-1,171%
		Total	39.349	38.650	4,081	20,543	0,052%	1,714%
2	Mei 2017	1	18.318	18.075	2,264	9,968	0,054%	1,260%
		2	17.348	17.025	2,954	10,662	0,061%	1,783%
		3	6.700	6.650	1,012	3,223	0,048%	0,683%
		Total	42.366	41.750	6,230	23,853	0,056%	1,383%
Total			81.715	80.400	10,311	44,396	0,054%	1,542%

Terdapat perbedaan proses produksi antara kondisi awal dan kondisi baru. Perusahaan memberlakukan kebijakan baru bahwa satu *shift* produksi hanya akan

melakukan satu proses produksi, proses *grinding* atau proses *mixing*. Kebijakan ini berdampak pada aktivitas proses *grinding*.

Pada kondisi awal, hasil proses *grinding* akan disimpan di tempat penyimpanan sementara sembari menunggu untuk diproses *mixing*. Namun, dengan diberlakukannya kebijakan yang baru, hasil proses *grinding* akan langsung dijahit dan disimpan didalam gudang.

Terdapat 14 aktivitas yang dilakukan pada proses *grinding* kondisi baru. Aktivitas-aktivitas tersebut dikelompokkan ke dalam 4 kelompok yaitu proses *external setup*, proses produksi, proses *packaging* dan proses transportasi. *Process Activity Mapping* untuk proses ini dapat dilihat di Tabel 22 hingga Tabel 25. *Process Activity Mapping* untuk proses ini menggambarkan proses *grinding* untuk setiap 1 ton produk yang dihasilkan.

Berdasarkan *Process Activity Mapping* untuk proses *grinding*, proses produksi untuk proses *grinding* membutuhkan total waktu 9.715,406 detik atau 2,7 jam, sehingga *cycle time* proses ini adalah 2,7 jam/ton. Proses ini memiliki aktivitas *external setup* yang memiliki total waktu 943,638 detik atau 15,73 menit, proses *packaging* dengan total waktu 1.709,24 detik atau 28,49 menit, dan waktu proses untuk transportasi produk akhir selama 223,772 detik atau 3,73 menit.

Tabel 22. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding* (*External Setup*) Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
1	<i>Set up hand pallet 1</i>	<i>Hand Pallet</i>		40,182	2					X		NVA
2	Memindahkan bahan baku dari gudang ke ruang <i>dumping</i>	<i>Hand Pallet</i>	5,75	93,210			X					NVA
3	Mengaitkan <i>crane</i> dengan bahan baku	<i>Crane</i>		53,964						X		NVA
4	Mengangkat bahan baku	<i>Crane</i>	1,250	106,956						X		NVA
5	Membersihkan <i>bag</i> bahan baku	Alkohol		201,288				X				NVA
6	Memindahkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	<i>Crane</i>	1,215	116,853			X					NVA
7	Membuka <i>bag</i>	<i>Manual</i>		37,821						X		NVA
8	Memasukkan bahan baku ke mesin <i>dumping</i>	<i>Manual</i>		293,364					X			NVA
Total			8,215	943,638	2	0	2	1	1	4	0	8

Tabel 23. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding* (Proses Produksi) Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
9	Proses <i>grinding</i>	Pipa, mesin RM, mesin <i>tempering</i> , <i>silo</i>		627,126	2	X					VA	
10	Memasukkan bubuk ke dalam <i>paper bag</i>	mesin <i>blower</i> , <i>paper bag</i>		9088,280		X					VA	
Total			0,000	9715,406	2	2	0	0	0	0	2	0

Tabel 24. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding* (Proses *Packaging*) Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
11	Proses <i>packaging</i>	Mesin jahit		1078,640	2	X					VA	
12	Menumpuk produk ke atas <i>pallet</i>	<i>Pallet</i>	1,25	630,600					X			NVA
Total			1,250	1709,240	2	1	0	0	1	0	1	1

Tabel 25. *Process Activity Mapping* Proses *Grinding* (Proses Transportasi) Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
13	<i>Set up hand pallet 2</i>	<i>Hand Pallet</i>		37,096	2					X		NVA
14	Memindahkan produk akhir ke gudang	<i>Hand Pallet</i>	14	186,676					X			NVA
Total			14,000	223,772	2	0	0	0	1	1	0	2

Terdapat 13 aktivitas yang dilakukan pada proses *mixing* kondisi baru. Aktivitas-aktivitas tersebut dikelompokkan ke dalam 4 kelompok yaitu proses *external setup*, proses produksi, proses *packaging* dan proses transportasi. *Process Activity Mapping* untuk proses ini dapat dilihat di Tabel 26 hingga Tabel 29. *Process Activity Mapping* untuk proses ini menggambarkan proses *mixing* untuk setiap 5 ton produk yang dihasilkan.

Berdasarkan *Process Activity Mapping* untuk proses *mixing*, proses *mixing* sendiri membutuhkan total waktu 23.020,38 detik atau 6,39 jam. Proses ini memiliki aktivitas *external setup* yang memiliki total waktu 2.388,470 detik atau 39,81 menit, proses *packaging* dengan total waktu 19.674,2 detik atau 5,46 jam,

dan waktu aktivitas untuk transportasi produk akhir selama 644,210 detik atau 10,74 menit. *Cycle time* proses *mixing* merupakan total waktu produksi dan *packaging*, *cycle time* proses *mixing* adalah 11,86 jam/5ton.

Tabel 26. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing (External Setup)* Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
1	Set up hand pallet 1	Hand Pallet		147,155	2					X		NVA
2	Mengambil bahan baku <i>mixing</i> di gudang C	Hand Pallet	14	1224,675		X						NVA
3	Memindahkan 4 bahan baku <i>mixing</i> ke samping mesin <i>mixing</i>	Manual	0,95	268,800		X						NVA
4	Memindahkan 3 bahan baku ke timbangan	Manual	3,24	57,650		X						NVA
5	Menimbang sesuai resep	Timbangan, sendok, <i>paper bag</i>		690,190				X				NVA
Total			18,190	2388,470	2	0	3	1	0	1	0	5

Tabel 27. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing (Proses Produksi)* Kondisi Baru

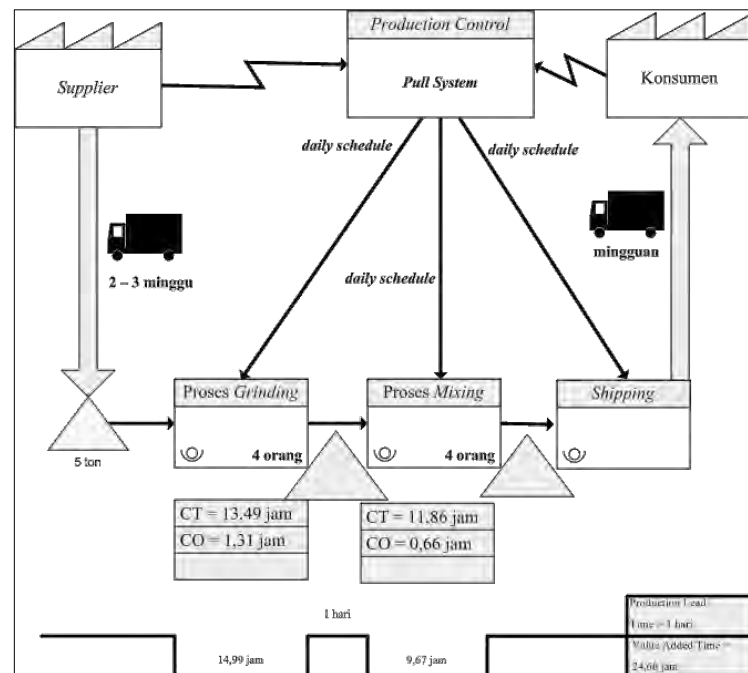
No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
6	Memasukkan 10 <i>bag</i> ke dalam mesin <i>mixing</i>	<i>Manual</i>	1	4060,380	2	X					VA	
7	Proses <i>mixing</i>	mesin <i>mixing</i>		18960,000		X					VA	
<i>Total</i>			<i>1,000</i>	<i>23020,380</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>0</i>

Tabel 28. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing (Proses Packaging)* Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori					VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage	Delay		
8	Memasukkan hasil <i>mixing</i> ke dalam <i>paper bag</i>	<i>paper bag</i>		4731,000	2	X					VA	
9	Menimbang setiap produk	Timbangan, sendok	1,15	4947,000				X				NVA
10	Proses <i>packaging</i>	mesin jahit		7080,800		X					VA	
11	Menumpuk produk ke atas pallet	<i>Pallet</i>	1,25	2915,400					X			NVA
Total			2,400	19674,200	2	2	0	1	1	0	2	2

Tabel 29. *Process Activity Mapping* Proses *Mixing* (Proses Transportasi) Kondisi Baru

No	Aktivitas	Mesin / alat bantu	Jarak (meter)	Rata-Rata Waktu (detik/5ton)	Jumlah operator	Kategori				VA	NVA
						Operation	Transportation	Inspection	Storage Delay		
12	Set up hand pallet 2	Hand Pallet		185,230	2				X		NVA
13	Memindahkan produk akhir ke gudang	Hand Pallet	9,50	458,980				X			NVA
Total			9,500	644,210	2	0	0	0	1	1	2

Gambar 4. *Value Stream Mapping* Kondisi Baru

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data yang dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

- Nilai produktivitas dari kedua kondisi terangkum pada Tabel 30.
- Total *scrap* yang dihasilkan pada kondisi baru lebih sedikit daripada kondisi awal. Hal ini dapat disimpulkan bahwa usulan perbaikan untuk mereduksi jumlah *scrap* dapat memberikan efek yang lebih baik, sehingga jumlah *scrap* yang dihasilkan pada kondisi baru lebih sedikit daripada kondisi awal.
- Total *loss* yang dihasilkan pada kondisi baru lebih sedikit daripada kondisi awal, namun belum mampu mencapai target perusahaan untuk total *loss*

maksimal 1%. Hal ini dikarenakan proses implementasi baru dilakukan 2 kali, sehingga belum terlihat perbedaannya dengan baik.

Tabel 30. Rangkuman Hasil Nilai Indikator

Kondisi	Nilai Indikator Produktivitas
Awal	<ul style="list-style-type: none"> • Persentase <i>scrap</i> dan <i>loss</i> pada kondisi awal adalah masing-masing sebesar 0,076% dan 1,987%. • <i>Cycle time</i> untuk proses <i>grinding</i> kondisi awal adalah 3,49 jam/ton. Total waktu aktivitas <i>external setup</i> dan proses penyimpanan untuk proses <i>grinding</i> kondisi awal adalah selama 16,95 menit/ton dan 13,72 menit/ton. • <i>Cycle time</i> untuk proses <i>mixing</i> kondisi awal adalah 14,2 jam/5ton. Total waktu aktivitas <i>external setup</i> dan proses penyimpanan untuk proses <i>mixing</i> kondisi awal adalah selama 1,18 jam/5ton dan 14,12 menit/5ton. • Total waktu <i>value added activity</i> untuk keseluruhan proses pada kondisi awal adalah 28,754 jam/5ton, sedangkan total waktu <i>non value added activity</i> untuk keseluruhan proses adalah 6,851 jam/5ton. Indikator <i>Process Cycle Efficiency</i> (PCE) untuk kondisi awal adalah sebesar 81%.
Baru	<ul style="list-style-type: none"> • Persentase <i>scrap</i> dan <i>loss</i> pada kondisi baru adalah masing-masing sebesar 0,054% dan 1,542%. • <i>Cycle time</i> untuk proses <i>grinding</i> kondisi baru adalah 2,7 jam/ton. Total waktu aktivitas <i>external setup</i>, proses <i>packaging</i> dan proses penyimpanan untuk proses <i>grinding</i> kondisi baru adalah selama 15,73 menit/ton, 28,49 menit/ton, dan 3,73 menit/ton. • <i>Cycle time</i> untuk proses <i>mixing</i> adalah 11,86 jam/5ton produk. Total waktu aktivitas <i>external setup</i> dan proses penyimpanan untuk proses <i>mixing</i> kondisi awal adalah selama 39,81 menit/5ton dan 10,74 menit/5ton. • Total waktu <i>value added activity</i> untuk keseluruhan proses pada kondisi baru adalah 24,667 jam/5ton, sedangkan total waktu <i>non value added activity</i> untuk keseluruhan proses adalah 5,524 jam/5ton. Indikator <i>Process Cycle Efficiency</i> (PCE) untuk kondisi baru adalah sebesar 82%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrami, M., Bazzaz, D. H., & Sajjadi, S. M. (2012). *Innovation and Improvements In Project Implementation and Management; Using FMEA Technique. International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management*, 418-425.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). *Lean manufacturing: literature review and research issues. International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940.
- Chauhan, G., & Singh, T. (2012). *Measuring parameters of lean manufacturing realization. Measuring Business Excellence*, 16(3), 57-71.

- Cortes, H., Daaboul, J., Duigou, J. L., & Eynard, B. (2016). *Strategic Lean Management: Integration of operational Performance Indicators for strategic Lean management. IFAC-PapersOnLine* 49-12, 65-70.
- Dennis, P. (2007). *Lean Production Simplified : A Plain Language Guide to the Worlds Most Powerful Production Systems*. New York: Productivity Press.
- Feld, W. (2000). *Lean Manufacturing : Tools, Techniques, and How to Use Them*. Boca Raton, Florida: St. Lucie Press.
- Gaspersz, V. (2007). *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries : Strategi Dramatik Reduksi Cacat/Kesalahan, Biaya, Inventori, dan Lead Time dalam Waktu Kurang dari 6 Bulan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hanif, R. Y., Rukmi, H. S., & Susanty, S. (2015). *Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury Di PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)*. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3, 137-147.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). *The seven value stream mapping tools*. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46-64.
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going Lean*. Cardiff: Lean Enterprise Research Centre.
- Roszkowska, E. (2013). *Rank Ordering Criteria Weighting Methods - A Comparative Overview*. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 14-33.
- Singh, B., Garg, S., Sharma, S., & Grewal, C. (2010). *Lean implementation and its benefits to production industry*. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(2), 157-168.
- Wignjosoebroto, S. (1992). *Teknik Tata Cara dan Pengukuran Kerja* (2 ed.). Jakarta: Guna Widya.
- Wignjosoebroto, S. (1993). *Pengantar Teknik Industri*. Jakarta: Guna Widya.